

**EVALUASI PERHITUNGAN GANGGUAN HUBUNG
SINGKAT PADA SISTEM TENAGA LISTRIK PENYULANG
BWN-9 GARDU INDUK BAWEN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ADHITYA AJI PRATAMA

D 400 140 032

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**EVALUASI PERHITUNGAN GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM TENAGA
LISTRIK PENYULANG BWN-9 GARDU INDUK BAWEN**

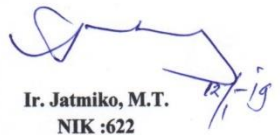
PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

ADHITYA AJI PRATAMA
D 400 140 032

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing


Ir. Jatmiko, M.T.
NIK :622

HALAMAN PENGESAHAN

**EVALUASI PERHITUNGAN GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM TENAGA
LISTRIK PENYULANG BWN-9 GARDU INDUK BAWEN**

Oleh:

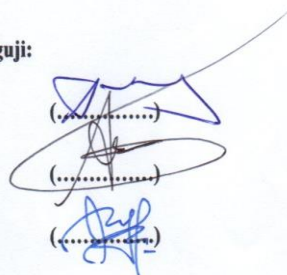
ADHITYA AJI PRATAMA

D 400 140 032

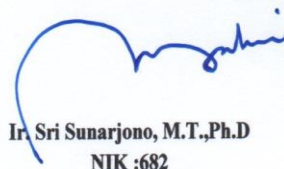
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari sabtu ,19 januari 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Ir. Jatmiko, M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. M. Muslich, S.T,MEng
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Aris Budiman, S.T,M.T
(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T.,Ph.D
NIK :682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 31 Oktober 2018

Penulis



ADHITYA AJI PRATAMA
D 400 140 032

EVALUASI PERHITUNGAN GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM TENAGA LISTRIK PENYULANG BWN-9 GARDU INDUK BAWEN

Abstrak

Pembuatan sistem tenaga listrik memerlukan sebuah perencanaan. Sebuah evaluasi perhitungan gangguan hubung singkat sangat diperlukan dalam hal perencanaan. Hubung singkat merupakan hal yang sangat sering terjadi dalam sebuah sistem. Hubung singkat diakibatkan karena sebuah penghantar bertegangan terhubung dengan penghantar netral dan sangat berbahaya bagi peralatan listrik yang tidak memiliki tahanan atau proteksi karena arus yang mengalir terlalu besar. Upaya yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan evaluasi perhitungan terhadap hubung singkat agar mengetahui arus hubung singkat yang bisa saja mengalir pada sistem tersebut dan menentukan sistem perlindungan atau proteksi pada sistem tersebut.

Penelitian membahas tentang evaluasi perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah pada penyulang BWN-9 gardu induk Bawen. Pegumpulan data berupa *single line diagram* lengkap dengan data beban dan data penghantar dilakukan untuk menjalankan simulasi hubung singkat pada ETAP *Power Station* 12.6. Simulasi dilakukan dengan menentukan tiga titik gangguan hubung singkat, yaitu pada daerah yang dekat dengan sumber, daerah dekat dengan beban dan daerah yang berada diantara sumber dengan beban.

Simulasi memperlihatkan besar arushubung singkat tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah. Letak titik gangguan merupakan hal yang mempengaruhi besar kecilnya kenaikan arus saat terjadi hubung singkat. Kenaikan arus akan semakin besar ketika hubung singkat berada dekat dengan sumber.

Kata kunci: hubung singkat, sistem tenaga listrik, ETAP *Power Station* 12.6

Abstract

Manufacture of electric power system requires a planning. An evaluation of the calculation of short circuit interruption is indispensable in terms of planning. A short circuit is very often occurs in a system. A short circuit caused due to a carriage-voltage connected to the neutral conductor and is very harmful to electrical equipment that does not have custody or protection because of the current flow is too large. Efforts that can be done is to do an evaluation of the calculation against a short circuit in

order to megetahuai the current short circuit could have been flowing in the system and determines the set of systems or proteki on the system. The research discusses the evaluation of the current short circuit calculation of three-phase, two phase, two phase to ground and single phase to ground at the penyulang booth holding 9-BWN Bawen. Pegumpulan data in the form of single line diagrams complete with load data and conducting data done to run a simulation of short circuit on the ETAP Power Station 12.6. The simulation is performed by specifying three point short circuit interruption, in areas closer to the source, the area close to the load and the area between the source with the load. The simulation showed the big three short arushubung phase, two phase, two phase to ground and single phase to ground. The location of the point of interruption is of great influence in the small increase in the event of a short circuit current. The increase in current will be even greater when a short circuit is close to the source.

Keywords: short circuit, power system, ETAP Power Station 12.6

1. PENDAHULUAN

Peran listrik sangatlah penting bagi semua orang, hampir semua kegiatan memerlukan energi listrik. Gangguan hubung singkat merupakan hal yang paling berbahaya dalam sebuah sistem tenaga listrik, melakukan perencanaan dengan mempelajari arus hubung singkat pada suatu sistem menjadi sebuah hal yang penting. Suatu hubung singkat terjadi karena sebuah penghantar yang memiliki tegangan bersentuhan langsung dengan penghantar netral atau sering disebut *ground* dan ketika penghantar bertegangan bersentuhan dengan pengantar bertegangan lain. Analisa perhitungan hubung singkat sangat diperlukan untuk menentukan sistem perlindungan atau proteksi yang tepat untuk mengatasi hubung singkat tersebut. Kontribusi arus hubung singkat yang setiap saat dapat mengalir pada sistem tenaga listrik akan dipelajari dalam analisa perhitungan hubung singkat.

Internal dan eksternal merupakan dua faktor yang mengakibatkan terjadi sebuah hubung singkat. Sebuah sistem atau peralatan listrik yang rusak dapat dikatakan sebagai gangguan dari faktor internal, sedangkan dari faktor eksternal biasa disebabkan karena gangguan alam seperti hujan, pohon tumbang, petir, badai dan lain-lain. Dilihat dari sifat gangguan dapat dikatakan gangguan tersebut

bersifat permanen atau temporer. Sangat berbahaya jika gangguan bersifat permanen, karena dapat merusak sistem pada peralatan, penghantar dan mampu menyebabkan kegagalan isolator, gangguan permanen sering terjadi pada sistem saluran bawah tanah. Berbeda dengan gangguan temporer yang dapat diamankan oleh sebuah *Circuit Breaker* (CB) atau pengaman lain.

Hubung singkat adalah sebuah gangguan yang paling sering terjadi pada jaringan listrik, akibat dari hubung singkat adalah arus yang membesar dan berdampak langsung terhadap rusaknya peralatan listrik yang tidak memiliki sistem keamanan yang baik. Seberapa besar arus melonjak tergantung pada letak terjadinya gangguan hubung singkat, arus akan semakin besar saat gangguan semakin dekat dengan sumber atau sebaliknya (Amira, 2014). Semakin meluasnya jaringan sistem tenaga listrik maka perlu dilakukan kembali analisa terhadap rating sebuah pemutus atau CB agar tetap aman saat terjadi hubung singkat. Dilihat dari kesimetrisannya sebuah gangguan hubung singkat terdiri dari dua macam, yaitu gangguan simetris dan gangguan asimetris. Gangguan simetris terjadi pada semua fasa dan menyebabkan tegangan dan arus yang berada pada masing-masing fasa bernilai sama, seperti hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Gangguan asimetris berakibat pada tidak seimbangnya arus yang mengalir pada setiap fasa, hal tersebut dapat terjadi ketika hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat fasa ke fasa, dan hubung singkat dua fasa ke tanah. Analisa perhitungan hubung singkat kali ini akan menggunakan kasus gangguan hubung singkat asimetris.

Analisa perhitungan hubung singkat adalah tindakan yang penting untuk penentuan rating arus hubung singkat agar peralatan maupun perangkat sistem distribusi dapat terlindungi, hal tersebut dapat diketahui dengan mempergunakan metode analisa hubung singkat tidak seimbang dan seimbang (Mathur, 2015). Tanpa sistem pengaman yang baik sebuah gangguan tanah akan berdampak buruk terhadap sistem tenaga listrik. Penyebab sebuah gangguan tanah adalah kumparan trafo yang memiliki tegangan induksi bertemu langsung dengan struktur logam yang berada disekitar trafo. Selain gangguan tanah juga terdapat gangguan isolasi. Sebuah hubung singkat juga bisa terjadi karena adanya

gangguan isolasi, gangguan tersebut berupa isolasi yang bocor. Kesalahan tidak simetri sering terjadi pada jalur jaringan yang dapat menyebabkan gangguan signifikan kekuasaan pasokan sistem jika tidak terdeteksi dan terisolasi di dekat real time. Real time sebagai pendeteksi suatu kesalahan sangat dibutuhkan dalam sistem proteksi atau perlindungan untuk mengisolasi garis rusak sebelum masalah stabilitas utama timbul(Saha2012).Dalam sistem tenaga listrik untuk melakukan simulasi operasi simetris dan tidak simetris dapat menggunakan sebuah komponen simetris. Penelitian ini memberi sebuah bukti tentang rangkaian ekuivalen baru jika dikembangkan akan menghasilkan rangkaian ekuivalen dengan menggunakan perhitungan untuk hubung singkat satu fasa ke tanah dan hubung singkat dua fasa ke tanah(moura, 2015).

Sebuah sistem tenaga listrik mempunyai garis kopling parsial dengan level tegangan berbeda. Saat terjadi sebuah gangguan yang terletak di garis-garis tersebut akan sangat sulit dalam melakukan perhitungan hubung singkat jika impedansi dengan nilai urutan nol. Malah tersebut dapat teratasi dengan cara mengubah komponen menjadi impedansi urutan positif, urutan nol dan urutan negative (C. Fan, 2015).Beberapa analisa gangguan hubung singkat tiga fasa maupun enam fasa jenis campuran dapat dilakukan dengan metode umum, metode yang cocok digunakan disemua macam atau jenis gangguan (Youssef, 2016). Tugas akhir ini membahas tentang analisa perhitungan untuk memperoleh suatu nilai arus gangguan hubung singkat pada penyulang BWN-9 gardu induk Bawen. Analisa dilakukan dengan membandingkan perhitungan manual terhadap perhitungan atau hasil yang dikeluarkan sebuah *software* ETAP *Power Station* 12.6.

1.1 Rumusan Masalah

Berapa besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah pada sistem tenaga listrik penyulang BWN-9 gardu induk Bawen.

1.2 Tujuan Penelitian

Mengetahui besar arus gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa, satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah pada sistem tenaga listrik penyulang BWN-9 gardu induk Bawen.

1.3 Manfaat Penelitian

- 1) Diharapkan dapat memberi tambahan pengetahuan tentang *software* ETAP sebagai program simulasi sistem tenaga listrik. Terutama untuk simulasi gangguan hubung singkat.
- 2) Diharapkan hasil analisis perhitungan gangguan hubung singkat bisa dimanfaatkan untuk mengetahui besar kapasitas peralatan pemutus atau CB yang akan dipasang pada sistem tenaga listrik.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini penulis menggunakan metodologi penulisan sebagai berikut :

1) Studi literature

Studi literature merupakan kajian penulis dari referensi-referensi yang ada baik berupa karya-karya ilmiah, buku, internet dan media massa yang bersangkutan dengan laporan ini.

2) Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan selanjutnya akan diolah dalam penelitian ini. Pada penelitian ini data yang dibutuhkan antara lain adalah keterangan hubung singkat dan diagram *single line* pada sistem tenaga listrik penyulang BWN-9 gardu induk Bawen.

3) Analisis Data

Proses pemahaman dari data yang diperoleh hasil dari data yang terkumpul, dalam proses ini akan terlihat keadaan sebuah sistem apakah masih baik atau tidak.

4) Perbaikan Perancangan Sistem

Proses perbaikan jika hasil dari analisis data pertama terdapat hasil yang tidak sesuai dengan standart IEC akan dilakukan perbaikan agar keamanan dan kehandalan sistem terjamin.

5) Pengujian dan Analisis Data

Tahap terakhir dari pengujian rancangan setelah perbaikan serta membandingkan dengan hasil lapangan kemudian menarik kesimpulan.

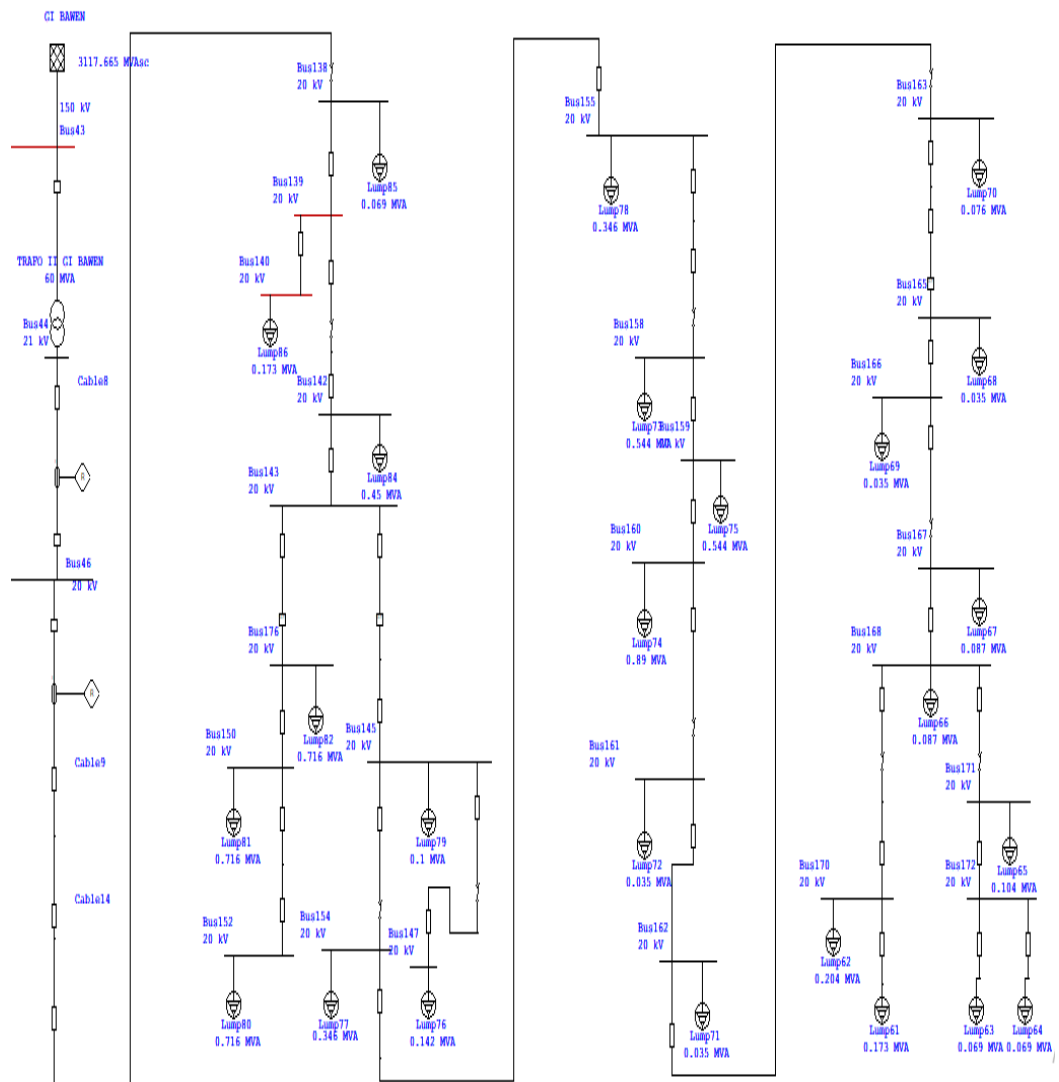
2.2 Peralatan Utama dan Pendukung

Peralatan yang akan digunakan untuk penelitian ini antara lain

- 1) PC atau laptop lengkap dengan *software* ETAP Power Station 12.6.
- 2) *Software* ETAP Power Station 12.6 merupakan media untuk melakukan analisis gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik.
- 3) Printer sebagai pencetak hasil penelitian dan laporan.

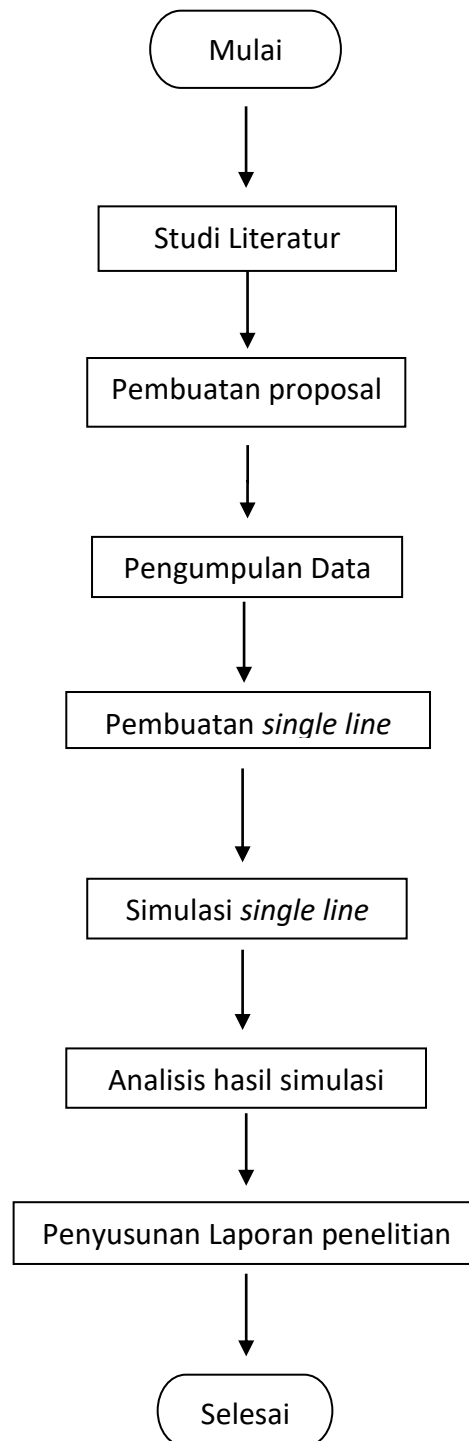
2.3 Gambaran Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Penelitian yang dilakukan ini mengambil data sistem tenaga listrik penyulang BWN-9 gardu induk Bawen. Gambar *single line diagram* di ETAP Power Station 12.6 dapat dilihat gambar 1.



Gambar 1. *Single line diagram*

2.4 Flowchart Penelitian

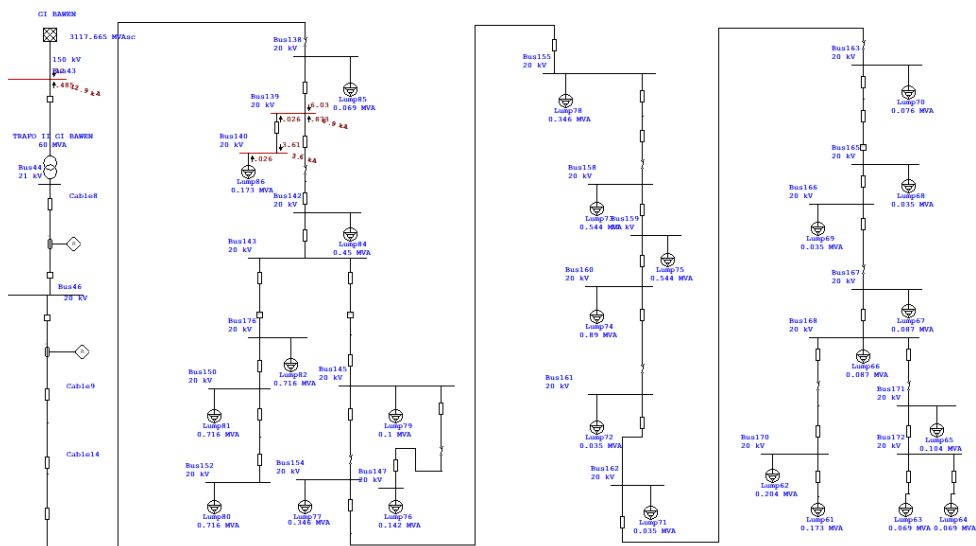


Gambar 2. *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Simulasi Gangguan Hubung Singkat

Simulasi perhitungan gangguan hubung singkat diterapkan pada jaringan sistem tenaga listrik gardu induk Bawen tepatnya pada penyulang BWN-9. Simulasi dilakukan dengan menentukan tiga titik atau daerah yang akan terjadi hubung singkat. Titik atau daerah dipilih berdasarkan daerah yang dekat dengan sumber atau pembangkit, daerah yang dekat dengan beban dan daerah yang berada diantara pembangkit dan beban. Bus 43 dipilih sebagai titik hubung singkat yang berada dekat dengan sumber, titik hubung singkat yang berada dekat dengan beban berada pada bus 140 dan titik hubung singkat diantara sumber dan beban berada pada bus 139. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui besarnya arus hubung singkat pada titik-titik tersebut saat terjadi suatu gangguan. Simulasi dilakukan pada beberapa jenis gangguan, yaitu gangguan tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah.



Gambar 3. Single line diagram

3.2 Simulasi Analisis Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan yang disebabkan karena terhubungnya ketiga fasa, yaitu fasa R, S dan T secara bersamaan. Simulasi kali ini memperlihatkan keadaan arus saat terjadi gangguan

hubung singkat tiga fasa. ETAP *Power Station* 12.6 digunakan sebagai media simulasi ini dengan gangguan $\frac{1}{2}$ cycle atau setengah siklus pada arus hubung singkat. Simulasi dilakukan pada beberapa titik bus, yaitu bus 43, 140 dan bus 139 lalu akan ditampilkan hasil *report* pada tabel 1, 2, dan tabel 3. Hasil *report* memperlihatkan besar arus saat terjadi hubung singkat pada bus 43, bus yang dekat dengan sumber sebesar 12,893 kA, lalu bus 140 yang berada diantara sumber dengan beban dengan arus sebesar 6.633 kA, dan bus 139 yang berada dekat dengan beban memperlihatkan arus sebesar 6.928 kA. Hasil ketiga titik hubung singkat tersebut memperlihatkan arus hubung singkat terbesar adalah 12,893 kA yang terletak pada bus paling dekat dengan sumber, yaitu bus 43.

Tabel 1. Hasil report arus hubung singkat tiga fasa pada bus 43

Contribution		1/2 Cycle				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	Imag. /Real	kA Symm. Magnitude
Bus43	Total	0.00	2.838	-12.576	4.4	12.893
Bus4	Bus43	23.49	0.041	-0.411	10.1	0.413
Bus44	Bus43	26.23	0.067	-0.480	7.2	0.485
GI BAWEN	Bus43	100.00	2.730	-11.685	4.3	12.000
Bus3	Bus4	23.63	0.290	-2.938	10.1	2.952
Bus46	Bus44	27.70	0.479	-3.428	7.2	3.462

Tabel 2. Hasil report arus hubung singkat tiga fasa pada bus 140

Contribution		1/2 Cycle				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	Imag. /Real	kA Symm. Magnitude
Bus140	Total	0.00	1.277	-3.401	2.7	3.633
Bus139	Bus140	48.03	1.273	-3.376	2.7	3.608
Lump86	Bus140	100.00	0.004	-0.025	6.7	0.026
Bus138	Bus139	73.22	1.159	-2.934	2.5	3.155
Bus141	Bus139	48.18	0.114	-0.442	3.9	0.456

Tabel 3. Hasil report arus hubung singkat tiga fasa pada bus 139

Contribution		1/2 Cycle				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	Imag. /Real	kA Symm. Magnitude
Bus139	Total	0.00	1.954	-6.646	3.4	6.928
Bus138	Bus139	48.20	1.796	-5.762	3.2	6.035
Bus141	Bus139	0.29	0.154	-0.859	5.6	0.873
Bus140	Bus139	0.34	0.004	-0.025	6.6	0.026
Bus137	Bus138	55.23	1.794	-5.757	3.2	6.030
Lump85	Bus138	100.00	0.001	-0.005	3.5	0.005
Bus142	Bus141	4.21	0.154	-0.859	5.6	0.873
Lump86	Bus140	100.00	0.004	-0.025	6.6	0.026

3.3 Simulasi Analisis Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang disebabkan karena salah satu fasadariR, S atau T terhubung singkat dengan tanah. Simulasi kali ini memperlihatkan keadaan arus saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. ETAP Power Station 12.6 digunakan sebagai media simulasi ini dengan gangguan 1/2 cycle atau setengah siklus pada arus hubung singkat. Simulasi dilakukan pada beberapa titik bus, yaitu bus 43, 140 dan bus 139 lalu akan ditampilkan hasil report pada tabel 4, 5, dan tabel 6. Hasil report memperlihatkan besar arus saat terjadi hubung singkat pada bus 43, bus yang dekat dengan sumber sebesar 12,958 kA, lalu bus 140 yang berada diantara sumber dengan beban dengan arus sebesar 1.843 kA, dan bus 139 yang berada dekat dengan beban memperlihatkan arus sebesar 3.780 kA. Hasil ketiga titik hubung singkat tersebut memperlihatkan arus hubung singkat terbesar adalah 12,958 kA yang terletak pada bus paling dekat dengan sumber, yaitu bus 43.

Tabel 4. Hasil report arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada bus 43

Contribution		Line-To-Ground Fault											
From Bus ID	To Bus ID	% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)					
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic	
		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.
Bus43	Total	0.00	0.0	99.11	-120.0	100.38	119.5	12.958	-76.9	0.000	0.0	0.000	0.0
Bus4	Bus43	15.74	4.8	108.75	-123.4	108.93	123.3	0.277	-83.9	0.138	96.1	0.138	96.1
Bus44	Bus43	17.58	7.1	104.65	-123.8	104.05	124.0	0.325	-81.6	0.162	98.4	0.162	98.4
GIBAWEN	Bus43	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	12.360	-76.6	0.301	-82.7	0.301	-82.7
Bus3	Bus4	15.83	4.6	108.76	-123.4	108.97	123.3	1.978	-83.9	0.989	96.1	0.989	96.1
Bus46	Bus44	18.56	7.0	109.90	-123.8	109.30	124.0	2.319	-81.6	1.160	98.4	1.160	98.4
												Sequence Current (kA)	
												I1	I2
												I0	

Tabel 5. Hasil report arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada bus 140

Contribution		Line-To-Ground Fault														
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)								
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		Sequence Current (kA)		
		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	I1	I2	I0
From Bus ID	To Bus ID															
Bus140	Total	0.00	0.0	136.06	-137.1	128.12	141.0	1.843	-76.3	0.000	0.0	0.000	0.0	0.614	0.614	0.614
Bus139	Bus140	51.34	-1.5	114.72	-129.0	110.79	130.7	1.835	-76.2	0.004	-88.3	0.004	-88.3	0.610	0.610	0.614
Line173~	Bus140	0.00	0.0	129.58	-137.1	122.01	141.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000
Lump86	Bus140	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.009	-88.3	0.004	91.7	0.004	91.7	0.004	0.004	0.000
Bus138	Bus139	80.96	-1.3	103.21	-122.3	102.12	122.7	1.681	-75.7	0.081	-82.7	0.081	-82.7	0.533	0.533	0.614
Bus141	Bus139	51.39	-1.5	114.73	-129.0	110.81	130.7	0.154	-82.4	0.077	97.6	0.077	97.6	0.077	0.077	0.000

Tabel 6. Hasil report arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada bus 139

Contribution		Line-To-Ground Fault												Sequence Current (kA)		
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)								
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic				
		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.			
From Bus ID	To Bus ID												I1	I2	I0	
Bus139	Total	0.00	0.0	131.72	-136.5	126.31	139.2	3.780	-77.9	0.000	0.0	0.000	0.0	1.260	1.260	1.260
Bus138	Bus139	60.80	-2.4	106.52	-124.6	104.81	125.3	3.455	-77.3	0.163	-84.1	0.163	-84.1	1.098	1.098	1.260
Bus141	Bus139	0.11	-19.3	131.74	-136.5	126.36	139.2	0.318	-84.0	0.159	96.0	0.159	96.0	0.159	0.159	0.000
Bus140	Bus139	0.12	-20.9	131.75	-136.5	126.37	139.2	0.009	-85.7	0.005	94.3	0.005	94.3	0.005	0.005	0.000
Bus137	Bus138	69.67	-2.4	103.34	-122.4	102.31	122.8	3.453	-77.3	0.164	-84.1	0.164	-84.1	1.097	1.097	1.260
Lump85	Bus138	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.002	-78.4	0.001	101.6	0.001	101.6	0.001	0.001	0.000
Bus142	Bus141	1.53	-19.3	132.07	-136.8	127.02	139.3	0.318	-84.0	0.159	96.0	0.159	96.0	0.159	0.159	0.000
Line173~	Bus140	0.12	-20.9	125.47	-136.5	120.35	139.2	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000
Lump86	Bus140	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.009	-85.7	0.005	94.3	0.005	94.3	0.005	0.005	0.000

3.4 Simulasi Analisis Arus Hubung Singkat Dua Fasa

Hubung singkat dua fasa merupakan gangguan yang disebabkan karena salah satu fasa terhubung dengan satu fasa lain. Simulasi kali ini memperlihatkan keadaan arus saat terjadi gangguan hubung singkat dua fasa. ETAP Power Station 12.6 digunakan sebagai media simulasi ini dengan gangguan $\frac{1}{2}$ cycle atau setengah siklus pada arus hubung singkat. Simulasi dilakukan pada beberapa titik bus, yaitu bus 43, 140 dan bus 139 lalu akan ditampilkan hasil report pada tabel 7, 8, dan tabel 9. Hasil report memperlihatkan besar arus saat terjadi hubung singkat pada bus 43, bus yang dekat dengan sumber sebesar 11,165 kA, lalu bus 140 yang berada diantara sumber dengan beban dengan arus sebesar 3.146 kA, dan bus 139 yang berada dekat dengan beban memperlihatkan arus sebesar 6.000 kA. Hasil ketiga titik hubung singkat tersebut memperlihatkan arus hubung singkat terbesar adalah 11,165 kA yang terletak pada bus paling dekat dengan sumber, yaitu bus 43.

Tabel 7. Hasil report arus hubung singkat dua fasa pada bus 43

Contribution		Line-To-Line Fault														
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)						Sequence Current (kA)		
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic				
From Bus ID	To Bus ID	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	I1	I2	I0
Bus43	Total	100.00	0.0	50.00	180.0	50.00	180.0	0.000	0.0	11.165	-167.3	11.165	12.7	6.446	6.446	0.000
Bus4	Bus43	105.00	0.0	54.84	-158.3	57.73	159.4	0.000	0.0	0.358	-174.4	0.358	5.6	0.207	0.207	0.000
Bus44	Bus43	100.00	0.0	52.46	-154.5	57.27	156.8	0.000	0.0	0.420	-172.0	0.420	8.0	0.242	0.242	0.000
GI BAWEN	Bus43	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.000	0.0	10.392	-166.8	10.392	13.2	6.000	6.000	0.000
Bus3	Bus4	105.00	0.0	54.92	-158.2	57.73	159.3	0.000	0.0	2.557	-174.4	2.557	5.6	1.476	1.476	0.000
Bus46	Bus44	105.00	0.0	55.18	-154.4	60.16	156.7	0.000	0.0	2.998	-172.0	2.998	8.0	1.731	1.731	0.000

Tabel 8. Hasil report arus hubung singkat dua fasa pada bus 140

Contribution		Line-To-Line Fault														
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)								
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		Sequence Current (kA)		
		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	I1	I2	I0
Bus140	Total	100.00	0.0	50.00	180.0	50.00	180.0	0.000	0.0	3.146	-159.4	3.146	20.6	1.817	1.817	0.000
Bus139	Bus140	100.00	0.0	67.57	-142.2	62.41	138.4	0.000	0.0	3.125	-159.3	3.125	20.7	1.804	1.804	0.000
Line173~	Bus140	95.24	0.0	47.62	180.0	47.62	180.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000
Lump86	Bus140	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.000	0.0	0.022	-171.5	0.022	8.5	0.013	0.013	0.000
Bus138	Bus139	100.00	0.0	83.65	-130.9	77.74	125.6	0.000	0.0	2.732	-158.4	2.732	21.6	1.577	1.577	0.000
Bus141	Bus139	100.00	0.0	67.66	-142.1	62.48	138.3	0.000	0.0	0.395	-165.6	0.395	14.4	0.228	0.228	0.000

Tabel 9. Hasil report arus hubung singkat dua fasa pada bus 139

Contribution		Line-To-Line Fault														
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)								
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		Sequence Current (kA)		
		Mag	Ang.	Mag	Ang.	Mag	Ang.	Mag	Ang.	Mag	Ang.	Mag	Ang.	I1	I2	I0
Bus139	Total	100.00	0.0	50.00	180.0	50.00	-180.0	0.000	0.0	6.000	-163.6	6.000	16.4	3.464	3.464	0.000
Bus138	Bus139	100.00	0.0	69.44	-143.5	60.53	136.9	0.000	0.0	5.227	-162.7	5.227	17.3	3.018	3.018	0.000
Bus141	Bus139	100.00	0.0	50.07	-179.7	49.94	179.7	0.000	0.0	0.756	-169.8	0.756	10.2	0.437	0.437	0.000
Bus140	Bus139	100.00	0.0	50.09	-179.7	49.92	179.7	0.000	0.0	0.022	-171.4	0.022	8.6	0.013	0.013	0.000
Bus137	Bus138	100.00	0.0	73.83	-140.1	64.22	132.5	0.000	0.0	5.222	-162.7	5.222	17.3	3.015	3.015	0.000
Lump85	Bus138	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.000	0.0	0.005	-164.2	0.005	15.8	0.003	0.003	0.000
Bus142	Bus141	100.00	0.0	51.07	-176.0	49.18	175.9	0.000	0.0	0.756	-169.8	0.756	10.2	0.437	0.437	0.000
Line173~	Bus140	95.24	0.0	47.70	-179.7	47.54	179.7	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000
Lump86	Bus140	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.000	0.0	0.022	-171.4	0.022	8.6	0.013	0.013	0.000

3.5 Simulasi Analisis Arus Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

Hubung singkat dua fasake tanah merupakan gangguan yang disebabkan karena salah satu fasa terhubung dengan satu fasa lain dan terhubung dengan tanah. Simulasi kali ini memperlihatkan keadaan arus saat terjadi

gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah. ETAP Power Station 12.6 digunakan sebagai media simulasi ini dengan gangguan ½ cycle atau setengah siklus pada arus hubung singkat. Simulasi dilakukan pada beberapa titik bus, yaitu bus 43, 140 dan bus 139 lalu akan ditampilkan hasil report pada tabel 10, 11, dan tabel 12. Hasil report memperlihatkan besar arus saat terjadi hubung singkat pada bus 43, bus yang dekat dengan sumber sebesar 12,843 kA, lalu bus 140 yang berada diantara sumber dengan beban dengan arus sebesar 3.301 kA, dan bus 139 yang berada dekat dengan beban memperlihatkan arus sebesar 6.266 kA. Hasil ketiga titik hubung singkat tersebut memperlihatkan arus hubung singkat terbesar adalah 12,843kA yang terletak pada bus paling dekat dengan sumber, yaitu bus 43.

Tabel 10. Hasil report arus hubung singkat dua fasa ke tanah pada bus 43

Contribution		Line-To-Line-To-Ground Fault														
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)						Sequence Current (kA)		
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic				
		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	I1	I2	I0
Bus43	Total	99.50	-0.4	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	13.007	162.7	12.843	43.2	8.617	4.276	4.341
Bus4	Bus43	112.35	0.0	20.78	-96.6	20.67	105.4	0.139	-83.5	0.366	174.7	0.364	16.7	0.276	0.137	0.000
Bus44	Bus43	108.25	0.2	23.20	-94.3	23.08	107.7	0.163	-81.2	0.429	177.0	0.426	19.0	0.324	0.161	0.000
GI BAWEN	Bus43	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.302	97.7	12.236	161.8	12.134	44.8	8.020	3.980	4.341
Bus3	Bus4	112.39	0.0	20.90	-96.7	20.79	105.3	0.994	-83.5	2.612	174.7	2.597	16.7	1.973	0.979	0.000
Bus46	Bus44	113.72	0.2	24.51	-94.4	24.37	107.6	1.166	-81.2	3.062	177.0	3.046	19.0	2.314	1.148	0.000

Tabel 11. Hasil report arus hubung singkat dua fasa ke tanah pada bus 140

Contribution		Line-To-Line-To-Ground Fault														
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)						Sequence Current (kA)		
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic				
		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	I1	I2	I0
Bus140	Total	133.31	1.2	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	3.108	-170.7	3.301	31.2	2.019	1.614	0.410
Bus139	Bus140	114.88	0.6	50.69	-125.8	47.69	118.8	0.003	89.3	3.086	-170.7	3.280	31.3	2.005	1.603	0.410
Line 173~	Bus140	126.96	1.2	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000
Lump86	Bus140	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.003	-90.7	0.022	-175.2	0.023	12.2	0.014	0.011	0.000
Bus138	Bus139	103.45	0.2	78.20	-126.6	73.74	120.2	0.054	94.9	2.694	-170.9	2.892	33.1	1.753	1.402	0.410
Bus141	Bus139	114.90	0.5	50.81	-125.8	47.80	118.7	0.052	-84.7	0.392	-169.3	0.400	18.1	0.254	0.203	0.000

Tabel 12. Hasil report arus hubung singkat dua fasa ke tanah pada bus 139

Contribution		Line-To-Line-To-Ground Fault														
		% Voltage at From Bus						Current at From Bus (kA)						Sequence Current (kA)		
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic				
		Mag	Ang	Mag	Ang	Mag	Ang	Mag	Ang	Mag	Ang	Mag	Ang			
From Bus	To Bus															
ID	ID															
Bus139	Total	131.38	0.8	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	6.008	-176.0	6.266	28.3	3.894	3.034	0.865
Bus138	Bus139	107.26	0.3	56.05	-133.6	50.07	122.8	0.112	94.3	5.234	-176.3	5.507	30.3	3.393	2.643	0.865
Bus141	Bus139	131.41	0.8	0.25	-109.2	0.25	79.0	0.109	-85.6	0.752	-173.9	0.764	14.3	0.491	0.382	0.000
Bus140	Bus139	131.42	0.8	0.29	-110.8	0.30	77.4	0.003	-87.2	0.022	-175.6	0.022	12.7	0.014	0.011	0.000
Bus137	Bus138	103.74	0.2	64.21	-133.6	57.37	122.8	0.113	94.4	5.230	-176.3	5.502	30.3	3.390	2.641	0.865
Lump85	Bus138	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.001	-80.0	0.005	-168.3	0.005	19.9	0.003	0.002	0.000
Bus142	Bus141	131.87	0.7	3.63	-109.2	3.68	79.0	0.109	-85.6	0.752	-173.9	0.764	14.3	0.491	0.382	0.000
Line173~	Bus140	125.16	0.8	0.28	-110.8	0.28	77.4	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000
Lump86	Bus140	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.003	-87.2	0.022	-175.6	0.022	12.7	0.014	0.011	0.000

3.6 Hasil Perhitungan Manual Arus Hubung Singkat

Perhitungan manual perlu dilakukan sebagai perbandingan hasil. Hasil simulasi menggunakan ETAP *Power Station* 12.6 akan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual. Sistem perhitungan manual memerlukan inputan data berupa data impedansi yang diperoleh dari hasil *report* yang dikeluarkan oleh ETAP. Masing-masing bus mempunyai nilai impedansi yang berbeda. Nilai impedansi hasil dari *report* ETAP diperlihatkan pada tabel 13. Analisa perhitungan manual hubung singkat diterapkan pada bus 43 yang memiliki tegangan sumber sebesar 150 kV.

Tabel 13. Nilai impedansi yang didapat dari ETAP Power Station 12.6.

Bus		Positive Sequence Imp. (ohm)			Negative Sequence Imp. (ohm)			Zero Sequence Imp. (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
Bus43	150.000	1.47855	6.55245	6.71720	1.47855	6.55245	6.71720	1.59783	6.42007	6.61591

3.6.1) Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Pada perhitungan ini bisa digunakan persamaan:

$$I_a = \frac{E_a}{z_1}$$

Dimana nilai:

$$E_a = \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86.6025 \text{ kV}$$

$$z_1 = 1.47855 + j6.55245$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{86.6025}{1.47855 + j6.55245} \\ &= \frac{86.6025 \angle 0^\circ}{6.72 \angle 77.28^\circ} \\ &= 12.68 \angle -77.28^\circ \text{ kA} \end{aligned}$$

3.6.2) Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Pada perhitungan ini bisa digunakan persamaan:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{z_1 + z_2 + z_0}$$

Dimana nilai:

$$I_a = 3 \cdot I_{a1}$$

$$I_b = 0 \text{ dan } I_c = 0$$

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

$$E_a = \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86.6025 \text{ kV}$$

$$z_1 = 1.47855 + j6.55245$$

$$z_2 = 1.47855 + j6.55245$$

$$z_0 = 1.59783 + j6.42007$$

$$z_{tot} = 4.54 + j19.52497$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} I_{a1} &= \frac{86.6025}{4.54 + j19.52497} \\ &= \frac{86.6025 \angle 0^\circ}{20.05 \angle 76.91^\circ} \\ &= 4.32 \angle -76.91^\circ \\ I_a &= 3 \times 4.32 \angle -76.91^\circ \\ &= 12.96 \angle -76.91^\circ \text{ kA} \end{aligned}$$

3.6.3) Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dua Fasa

Pada perhitungan ini bisa digunakan persamaan:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{z_1 + z_2}$$

Dimana nilai:

$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c$$

$$I_{a0} = 0$$

$$\begin{aligned}
I_{a1} &= -I_{a2} \\
E_a &= \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86.6025 \text{ kV} \\
z_1 &= 1.47855 + j6.55245 \\
z_2 &= 1.47855 + j6.55245 \\
z_{tot} &= 2.9571 + j13.1049
\end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
I_{a1} &= \frac{86.6025}{2.9571 + j13.1049} \\
&= \frac{86.6025 \angle 0^\circ}{13.43 \angle 77.28^\circ} \\
&= 6.45 \angle -77.28^\circ \text{ kA} \\
I_b &= I_{a0} + a^2 \cdot I_{a1} + a \cdot I_{a2} \\
&= 0 + (1 \angle 240^\circ)(6.45 \angle 0^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(-6.45 \angle 0^\circ) \\
&= 6.45 \angle 240^\circ + (-6.45 \angle 120^\circ) \\
&= 11.17 \angle -90^\circ \text{ kA}
\end{aligned}$$

3.6.4) Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah

Pada perhitungan ini bisa digunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
I_{a1} &= \frac{E_a}{z_1 + \frac{z_0 z_2}{z_0 + z_2}} \\
I_{a0} &= \frac{I_{a1} z_1 - E_a}{z_0} \\
I_{a2} &= \frac{I_{a1} z_1 - E_a}{z_2}
\end{aligned}$$

Dimana nilai:

$$\begin{aligned}
I_a &= 0 \\
E_a &= \frac{V}{\sqrt{3}} = \frac{150}{\sqrt{3}} = 86.6025 \text{ kV} \\
z_1 &= 1.47855 + j6.55245 \\
z_2 &= 1.47855 + j6.55245 \\
z_0 &= 1.59783 + j6.42007 \\
z_1 + z_0 // z_2 &= 2.26 + j9.79 = 10.05 \angle 77.01^\circ
\end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
I_{a1} &= \frac{86.6025}{2.26 + j9.79} \\
&= \frac{86.6025 \angle 0^\circ}{10.05 \angle 77.01^\circ} \\
&= 8.62 \angle 77.01^\circ \text{ kA}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{a2} &= \frac{((8.62 \angle 77.01^\circ) \cdot (1.47855 + j6.55245)) - 86.6025}{1.47855 + j6.55245} \\
&= \frac{((8.62 \angle 77.01^\circ) \cdot (6.72 \angle 77.28^\circ)) - 86.6025 \angle 0^\circ}{6.72 \angle 77.28^\circ} \\
&= 4.72 \angle 77.28^\circ \text{ A} \\
I_{a0} &= \frac{((8.62 \angle 77.01^\circ) \cdot (1.47855 + j6.55245)) - 86.6025}{1.59783 + j6.42007} \\
&= \frac{((8.62 \angle 77.01^\circ) \cdot (6.72 \angle 77.28^\circ)) - 86.6025 \angle 0^\circ}{6.62 \angle 76.02^\circ} \\
&= 4.33 \angle 103.42^\circ \text{ A} \\
I_a &= I_{a0} + I_a^2 \cdot I_{a1} + I_a \cdot I_{a2} \\
&= 4.33 \angle 103.42^\circ + (1 \angle 240^\circ)(8.62 \angle -77.01^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(4.27 \angle -102.17^\circ) \\
&= 4.33 \angle 103.42^\circ + 8.62 \angle 162.99^\circ + 4.27 \angle 222.17^\circ \\
&= 13.00 \angle 162.69^\circ \text{ A} \\
I_b &= I_{a0} + I_a \cdot I_{a1} + I_a^2 \cdot I_{a2} \\
&= 4.33 \angle 103.42^\circ + (1 \angle 120^\circ)(8.62 \angle -77.01^\circ) + (1 \angle 240^\circ)(4.27 \angle -102.17^\circ) \\
&= 4.33 \angle 103.42^\circ + 8.62 \angle 42.99^\circ + 4.27 \angle 342.18^\circ \\
&= 12.84 \angle 43.17^\circ \text{ A}
\end{aligned}$$

3.7 Hasil Perbandingan Perhitungan Analisis Arus Hubung Singkat

Perhitungan manual arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dua fasa ke tanah dan satu fasa ke tanah yang dilakukan pada bus 43. Hasil dari simulasi ETAP *Power Station 12.6* yang dilakukan di awal akan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual. Tabel 14 merupakan tabel yang menampilkan hasil dari dua metode yang dilakukan. Hasil memperlihatkan nilai arus yang tidak sama, ketidak samaan hasil nilai arus diakibatkan oleh pembulatan angka desimal.

Tabel 14. Hasil perbandingan hitungan manual dan simulasi dengan ETAP Power Station 12.6

Jenis gangguan	Hasil perbandingan		Selisih Manual - Simulasi
	Hitung manual (kA)	Simulasi (kA)	
Tiga Fasa	12.86	12.893	0.033
Satu Fasa Ke Tanah	12.96	12.958	0.002
Dua Fasa	11.17	11.165	0.005
Dua Fasa Ketanah	12.84	12.843	0.003

4. PENUTUP

Dari hasil analisis gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik penyulang BWN-9 gardu induk Bawen menggunakan *software* ETAP Power Station 12.6 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Besar arus hubung singkat yang berbeda terjadi pada simulasi hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan dua fasa ke tanah serta satu fasa ke tanah. Hal tersebut terjadi karena faktor letak gangguan hubung singkat.
- 2) Lokasi gangguan hubung singkat sangat berpengaruh terhadap besar arus hubung singkat, arus hubung singkat akan semakin besar jika berada semakin dekat dengan sumber. Hal tersebut terjadi karena jumlah percabangan arus yang sedikit.
- 3) Dari beberapa jenis gangguan hubung singkat terlihat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang paling besar. Hal tersebut disebabkan karena hanya terdapat 1 jalur atau satu fasa

PERSANTUNAN

Adhitya Aji Pratama berterimakasih terhadap semua pihak yang telah membantu, menyisihkan waktu dan merestui sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir sebagai berikut kepada:

- 1) ALLAH SWT dan Nabi Muhammad SAW yang telah memberi hidayah serta inayah-Nya.

- 2) Bapak dan ibu serta keluarga yang sudah memberi doa, semangat dan nasehat.
- 3) Bapak Umar S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 4) Pak Ir. Jatmiko, M.T. selaku dosen pembimbing.
- 5) Dosen Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- 6) Teman-teman teknik elektro 2014 yang selalu mendukung dan menyemangati.

DAFTAR PUSTAKA

- Amira. *Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah*, Jurnal Teknik Elektro ITP Volume 3 No. 2; Juli 2014
- Chunju Fan. 2015. Short-circuit current calculation method for partial coupling transmission lines under different voltage levels. *Journal Electrical Power and Energy Systems* 647-654
- Mathur, akhilesh., Pan, vinay., das biswarup. 2015. Unsymmetrical short-circuit analysis for distribution system considering loads. *Journal Electrical Power and Energy Systems*, 70, 27-38.
- Moura, Ailson P., Pancees lopes, J. A., de Maura ardiano, A.f. 2015. Sequence networks to the calculation of two-simultaneous faults at the same location. *Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 69, 414-420.
- Saha, s., aldeen, m., tan, C. P. 2013. Unsymmetrical fault diagnosis in transmission/distribution networks. *Journal of Electrical Power and Energy System*, 45, 252-263.
- Youssef, karim hasan., abouelenin, fathy mabrouk. 2016. Analysis of simultaneous unbalanced short circuit and open conductor fault in power systems with untransposed line and six-phase sections. *Journal Alexandria Engineering*, xxx, xxx-xxx.